

## ШВИДКОДІЮЧИЙ АДАПТИВНИЙ ЗАХИСТ ВІД КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ MICROGRID З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

**М.В. Гребченко\***, докт. техн. наук, **Є.В. Єрмоєнко**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна,  
e-mail: [grebchenko@nubip.edu.ua](mailto:grebchenko@nubip.edu.ua)

*Запропоновано захист від коротких замикань у мережах microgrid з розподіленою генерацією, у яких потужність джерел живлення й навантаження постійно змінюються, що призводить до зміни чутливості релейного захисту. Струм спрацювання вказаного захисту автоматично адаптується до актуального значення робочого струму лінії. У захисті передбачено заходи блокування його дії у разі виникнення короточасних завад у колах струму. Він встановлюється з двох сторін лінії й захищає усю лінію, забезпечує сталий режим роботи мережі за рахунок швидкого вимикання коротких замикань. Наведено алгоритм роботи та схему реалізації захисту. Перевірку його дії проведено з використанням параметрів режиму реального короткого замикання. Бібл. 7, рис. 3.*

**Ключові слова:** швидкодія, коротке замикання, селективність, розподілена генерація

Розвиток електроенергетики багатьох країн характеризується значним збільшенням сумарної потужності вітростанцій і сонячних станцій та зростанням їхнього впливу на режими роботи електричних систем [1]. Одночасно відбувається ускладнення електричних схем мережі, а робочі та аварійні режими все більше характеризуються високою динамічністю [2-4]. У цих умовах швидкодія і селективність застосовуваних захистів не завжди забезпечують правильну і швидку ліквідацію пошкоджень. У [4] запропоновано централізовану систему захисту, яка враховує динамічні зміни в мережі, такі як підключення і відключення генераторів, але й притаманні їй недоліки централізованих систем. Аналіз публікацій [1-6] показує, що все більша кількість авторів приходять до висновку щодо необхідності інтелектуалізації релейного захисту, щоб його технічна досконалість відповідала рівню складності електроенергетики та аварійним перехідним процесам.

У [5] запропоновано принцип побудови адаптивного струмового захисту для електричної мережі з розподіленою генерацією, проведено аналіз і виконано оцінку основних результатів використання цього принципу. На відміну від того, що зазвичай у подібних захистах використовуються діючі або середні значення струмів і напруг, у запропонованому принципі ведеться обробка їхніх миттєвих значень. Це забезпечує суттєве скорочення часу спрацювання захисту. Точність роботи у розглянутому принципі захисту забезпечується за рахунок використання струмів короткого замикання (КЗ) до моменту початку насичення трансформаторів струму. Дія захисту не охоплює усю лінію, що є основним недоліком. Він може використовуватися, якщо в результаті розрахунків режимів приєднань мережі microgrid та їхнього аналізу встановлено, що на лініях з одностороннім живленням або на лініях значної довжини припустимо вимикання КЗ без витримки часу не на усій довжині лінії.

Забезпечення селективної роботи захисту [5] у разі КЗ у будь-якій точці лінії неможливе навіть у разі усунення похибки вимірювальних трансформаторів струму та напруги. При точному вимірюванні параметрів режиму лінії у найкращому випадку захист може охопити 95-98% її довжини, але не усю лінію. В основному це пов'язано з неможливістю точно визначити параметри лінії із-за їхньої залежності від стану зовнішнього середовища. У зв'язку з цим для захисту усієї лінії з мінімальним часом вимкнення КЗ необхідно забезпечити абсолютну селективність захисту.

**Метою роботи** є вдосконалення адаптивного струмового захисту за рахунок забезпечення його завадостійкості, а також реалізації абсолютної селективності на лініях з двостороннім живленням у мережах microgrid.

Зміна потужності вітрогенераторів, обумовлена відхиленням швидкості потоку вітру, або зміна схеми мережі в результаті періодичного включення і відключення вітрогенераторів призводять до змінення робочого струму лінії. Відключення вітрогенераторів призводить не тільки до зниження робочого струму лінії, але і величини струму КЗ. Якщо струм короткого замикання незначно перевищує

струм спрацювання захисту лінії, то захист через його неправильне налаштування може не спрацювати. У багатьох випадках правильність його настройки полягає в автоматичному зниженні його струму спрацювання за рахунок зменшення робочого струму, тобто у адаптивній зміні струму спрацювання. Адаптивний захист забезпечує правильну роботу, а також підвищення чутливості на лініях, навантаження яких змінюється в широкому діапазоні. Підставою для зміни струму спрацювання є така зміна струму, яка перевищила задане відхилення.

У захисті використано «класичний» спосіб визначення виникнення режиму КЗ по перевищенню струмом лінії заданого значення. Задля запобігання помилкового спрацювання захисту через завади у струмах не використовується традиційна фільтрація і виділення аварійної складової в струмі. Необхідна швидкодія захисту не залишає часу для фільтрації струмів традиційними шляхами.



Рис.1

тому запропоновано спосіб відстроювання від можливих перешкод в струмових колах (рис. 1). Спосіб засновано на тому, що перешкоди зазвичай короткочасні і можуть призводити до помилкового спрацювання струмового пускового органу (ПО) захисту тільки один раз на протязі часу 3 мілісекунди. Задля надійного встановлення факту перевищення струмом уставки спрацювання не менше двох дискретних значень [7] струму ( $n$  –

номер дискретного значення струму, що знаходяться на відстані 1 мілісекунда одне від одного) повинні перевищити задане значення протягом 3 мілісекунд (рис. 1, а). У разі виникнення у струмі короткочасної завади перевищення адаптованої уставки струму відбувається тільки один раз (рис. 1, б). Завадостійкий алгоритм визначення перевищення струмом адаптованої уставки струму наведено на рис. 2. На вхід подаються дискретні значення струму  $i_{к.з.п}$ , вимірювання яких виконується кожен мілісекунду. Якщо з трьох послідовних дискретних значень струму два або три перевищують адаптовану уставку струму, то на виході алгоритму фіксується сигнал виникнення КЗ.

У разі необхідності завадостійкість алгоритму може бути підвищена шляхом збільшення кількості необхідних перевищень уставки струмом з двох до трьох.

У разі живлення лінії з двох сторін для забезпечення двостороннього вимкнення КЗ захисту встановлюються також з двох сторін: на початку лінії захист  $КАW1$  та в кінці лінії захист  $КАW2$  (рис. 3). Захисти виконуються спрямованими у сторону лінії. У зону дії кожного захисту входить уся лінія й деяка частина довжини прилеглих до шин підстанцій ліній. Для цього адаптований струм спрацювання захистів обирається більшим за робочий струм лінії. Сигнал на виходах логічних схем I (&1 та &2) на вимкнення вимикачів формується тільки у випадку спрацювання обох захистів  $КАW1$  та  $КАW2$ . Для обміну інформацією щодо стану захисту протилежного кінця лінії використовується канал зв'язку (показано пунктиром).

Якщо виникає КЗ на лінії  $W$  у точці  $K1$ , то обидва захисти  $КАW1$  та  $КАW2$  спрацюють (потужність КЗ від шин в лінію та струми перевищують задані адаптовані

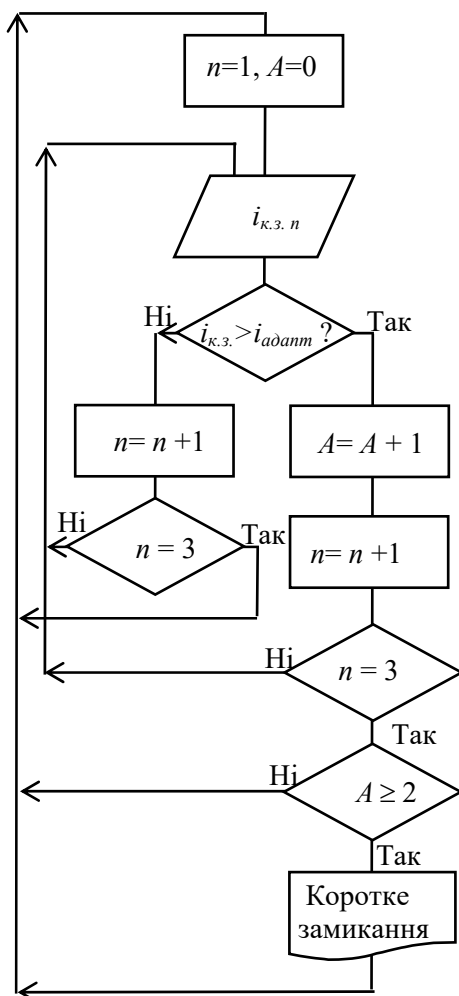


Рис. 2

уставки, захист протилежного кінця лінії спрацював) й вимикають вимикачі  $Q1$  і  $Q2$ .

У разі зовнішнього КЗ у точці  $K2$  захист  $KAW1$  спрацює, а напрям потужності КЗ через захист  $KAW2$  від лінії до шин, й тому він не спрацює та блокує вимкнення вимикачів.

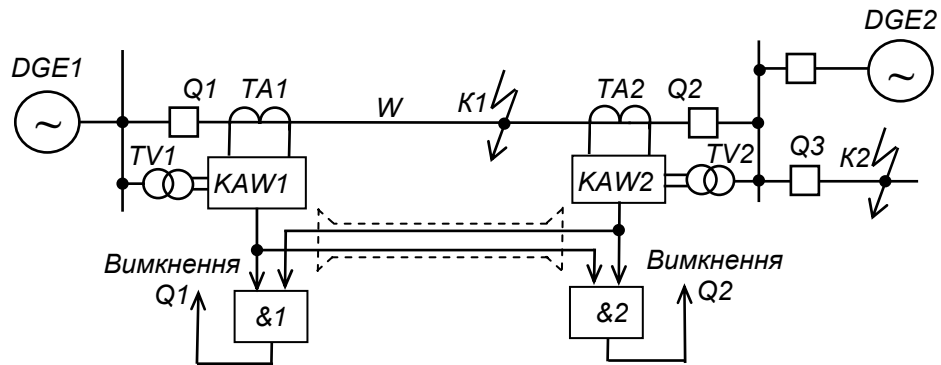


Рис. 3

Селективна робота захистів лінії забезпечується, якщо мінімальний коефіцієнт чутливості у разі КЗ у кінці лінії має значення не менш 1,5.

Перевірку роботи основних блоків алгоритму швидкодіючого адаптивного струмового захисту проведено з використанням параметрів режиму реального однофазного КЗ.

#### Висновки.

1. Встановлено, що адаптивний струмовий захист, принцип дії якого заснований на співставленні дійсного й розрахункового струмів КЗ, може застосовуватися на лініях з одностороннім живленням. Захист не охоплює усю довжину лінії.

2. Принцип дії пускового струмового органу адаптивного захисту забезпечує відстроювання від можливих завад без збільшення його часу дії. Короткочасні завади у струмах не впливають на роботу захисту.

3. З метою забезпечення селективності дії адаптивного струмового захисту незалежно від місця та виникнення КЗ запропоновано підвищити точність визначення КЗ за рахунок використання контролю напрямку потужності КЗ і обміну інформацією щодо спрацювання захистів по кінцях лінії, що захищається.

1. Bernd M. Buchholz, Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer-Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2014. 396 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45120-1>.

2. Shahzad U., Kahrobaee S., Asgarpoor S. Protection of Distributed Generation: Challenges and Solutions. *Energy and Power Engineering*. 2017. Vol. 9. No 10. Pp. 614-653.

3. Gashteroodkhania O.A., Majidia M., Fadalia M.S., Etezadi-Amolia M., Maali-Amiri E. A protection scheme for microgrids using time-time matrix z-score vector. *Electrical Power and Energy Systems*. 2019. 110 (2019) Pp. 400-410. URL: [www.elsevier.com/locate/ijepes](http://www.elsevier.com/locate/ijepes) (accessed at 10.01.2020)

4. Taha Selim Ustun, Cagil Ozansoy, Aladin Zayegh. Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2012. Vol. 27. Issue 3. Pp.1560-1567. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2185072>

5. Grebchenko N.V., Osipov D.Y., Teslya A.G., Bozok J.B., Koval I.I. Adaptive Current Short-Circuit Protection in Electric Systems with Distributed Generation. 23<sup>rd</sup> International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion SPEEDAM. Capri, Italy, June 22-24, 2016. Pp. 1281-1285.

6. Zheng T.Y., Cha S.T., Crossley P.A., Kang Y.C. Design and Evaluation of a Protection Relay for a Wind Generator based on the Positive- and Negative-Sequence Fault Components. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2013. Vol. 8. Issue 5. Pp. 1029-1039. DOI: <https://doi.org/10.5370/JEET.2013.8.5.1029>

7. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ АДАПТИВНАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ MICROGRID С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Н.В. Гребченко, докт. техн. наук, Е.В. Єрѐменко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

ул. Героев Обороны, 15, Киев, 03041, Украина,

e-mail: [grebchenko@nubip.edu.ua](mailto:grebchenko@nubip.edu.ua)

*Предложена защита от коротких замыканий в сетях microgrid с распределенной генерацией, в которых мощность источников питания и нагрузки постоянно изменяются, что приводит к изменению чувствительности релейной защиты. Ток срабатывания предложенной защиты автоматически адаптируется к актуальному значению рабочего тока линии. В защите предусмотрены меры по блокированию ее действия при возникновении кратковременных помех в цепях тока. Защита устанавливается с двух сторон линии и защищает всю линию, обеспечивает устойчивый режим работы сети за счет быстрого выключения коротких замыканий. Приведен алгоритм работы и схема реализации защиты. Проверка работы защиты проведена с использованием параметров режима реального короткого замыкания. Библ. 7, рис. 3.*

**Ключевые слова:** быстродействие, короткое замыкание, селективность, распределенная генерация

## FAST ADAPTIVE PROTECTION AGAINST SHORT CIRCUITS IN MICROGRID ELECTRIC NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION

N.V. Grebchenko, Y.V. Yeromenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv 03041, Ukraine,

e-mail: [grebchenko@nubip.edu.ua](mailto:grebchenko@nubip.edu.ua)

*Protection against short circuits in microgrid networks with distributed generation is proposed, in which the power of the power sources and loads are constantly changing, which leads to a change in the sensitivity of relay protection. The response current of the proposed protection automatically adapts to the current value of the line operating current. The protection includes measures to block its action in the event of short-term interference in current circuits. Protection is installed on both sides of the line and protects the entire line, provides a stable mode of operation of the network due to the quick shutdown of short circuits. The algorithm of operation and the scheme for implementing protection are given. The protection operation was tested using the parameters of the real short circuit mode. References 7, figures 3.*

**Keywords:** fast protection, short circuit, selectivity, distributed generation

1. Bernd M. Buchholz, Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. DOI 10.1007/978-3-642-45120-1. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. Library of Congress Control Number: 2014931356. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014. 396 p.
2. Umair Shahzad, Salman Kahrobaee, Sohrab Asgarpoor. Protection of Distributed Generation: Challenges and Solutions. Energy and Power Engineering, 2017, 9, 614-653.
3. Gashteroodkhanian O.A., Majidia M., Fadalia M.S., Etezadi-Amolia M., Maali-Amiri E. A protection scheme for microgrids using time-time matrix z-score vector. Electrical Power and Energy Systems 110 (2019) 400–410 journal homepage: URL: [www.elsevier.com/locate/ijepes](http://www.elsevier.com/locate/ijepes) (accessed at 10.01.2020)
4. Taha Selim Ustun, Cagil Ozansoy, Aladin Zayegh. Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420. DOI: [10.1109/TPWRS.2012.2185072](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2185072). IEEE Transactions on Power Systems. 2012. Vol. 27, Issue 3, Aug. Pp. 1560-1567.
5. Grebchenko N.V., Osipov D.Y., Teslya A.G., Bozok J.B., Koval I.I. Adaptive Current Short-Circuit Protection in Electric Systems with Distributed Generation 23<sup>rd</sup> International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion SPEEDAM 22-24 June, 2016. 978-1-5090-2067-6/16/\$31.00 ©2016 IEEE. Capri, Italy., pp. 1281-1285
6. Zheng T.Y., Cha S.T., Crossley P.A., Kang Y.C. Design and Evaluation of a Protection Relay for a Wind Generator based on the Positive- and Negative-Sequence Fault Components. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2013. Vol. 8. Issue 5. Pp. 1029-1039. DOI: <https://doi.org/10.5370/JEET.2013.8.5.1029>
7. Shneerson E.M. Digital relay protection. M.: Energoatomizdat, 2007. 549 p. (Rus)

Надійшла 28.02.2020

Остаточний варіант 19.06.2020